

P12

フーリエ分光計のシミュレーション技術

Computer based simulation of Fourier transform spectrometers

神谷 芳和¹, 柳澤隆行², 秋山智浩², 玉川恭久², 笠原久美雄²

Yoshikazu Kamiya¹, Takayuki Yanagisawa², Tomohiro Akiyama²

Yasuhisa Tamagawa² and Kumio Kasahara²

¹ (財) 資源探査用観測システム研究開発機構, ² 三菱電機 (株) 情報技術総合研究所

¹ Japan Resources Observation System Organization,

² Mitsubishi Electric Corporation, Information Technology R&D Center

Spaceborne Fourier transform spectrometer (FTS) is one of the most promising sensors for global measurements of the atmospheres or surfaces because of its potentialities for high spectral resolution and high accuracy. One of the difficulties for realizing high performance FTS is how to overcome its sensitivity to the surroundings such as mechanical vibrations and shocks. In the early design stage of spaceborne FTS, we have developed the FTSs simulator and examined the performance under the influence of mechanical vibrations. It is possible to estimate quantitatively the influence of the surroundings of FTSs and this simulator is effective in FTSs development. This research was commissioned by JAROS/MITI.

1. はじめに

地球温暖化・オゾン層破壊など大気に係わる環境問題の解明には、地球規模の大気成分の分布と循環メカニズムを知る必要がある。地表および大気から放射される赤外線放射スペクトルには、二酸化炭素など大気中の微量成分気体の情報が含まれている。フーリエ分光計 (Fourier transform spectrometer, FTS) で観測される高精度なスペクトルを解析することにより、これらの微量成分気体の濃度分布および高度分布を得ることが可能である。FTSでは、マイケルソン干渉計またはその改良型の干渉計の反射鏡を走査して、干渉強度の変化であるインタフェログラムを観測する。これを逆フーリエ変換することによりスペクトルが得られるが、反射鏡の走査中に振動などの外乱が生じた場合、スペクトルに与える影響を解析的に評価することは困難である。システム設計段階においてこれらの影響を見積もるために、シミュレータの開発を行い、振動下におけるFTSの性能評価を行った。本報告では、干渉計によりインタフェログラムを計測し信号処理により赤外放射スペクトルに復元されるまでのシミュレーション方法と、サンプリング位置決定方法および光学系構成の異なるFTSの振動による影響を評価する。

2. シミュレーション方法

Fig.1にFTSに用いられるマイケルソン干渉計の構成を、Fig.2にシミュレーションのフローチャートを示す。シミュレーションは以下の4つの手順により行う。

光学系データ作成: マイケルソン干渉計の固定鏡光路、可動鏡光路それぞれについて、光学部品の配置、収差、形状、透過 (反射) 波面など、各諸元を含めた光学系データを作成する。一般的なマイケルソン干渉計の光学系データを自動的に生成し、収差や形状は実測値を用いることができる。

光線追跡による波面導出: 光学系データの光線追跡により二つの光路の射出瞳における波面を導出する。振動の周期より最低限必要とされるサンプリング位置のみを光線追跡することにより計算時間を短縮している。

インタフェログラム計算: 二つの光路の波面の干渉の干渉効率を計算し、インタフェログラムを求める。検出器の感度より出力電子数を計算し、ショット雑音、暗電流、熱雑音を付加する。

スペクトル復元: インタフェログラムに、位相補正およびアポダイゼーションを施し、スペクトルを復元する。同様の手順により得られた校正系のスペクトルにより校正を行う。

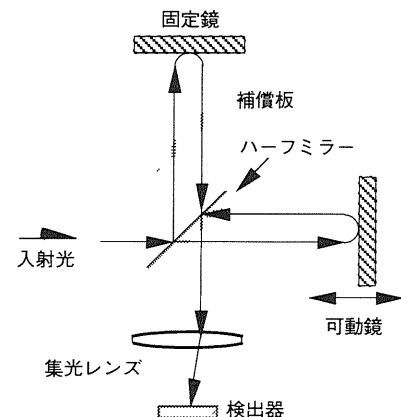


Fig.1 Michelson interferometer for FTS

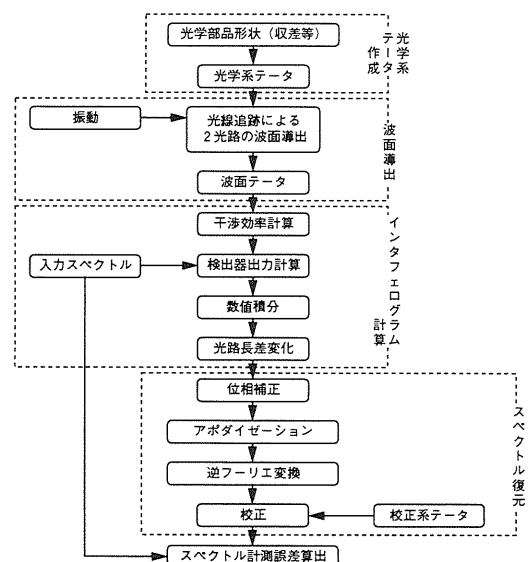


Fig.2 The flowchart of FTSs simulation

3. 振動がFTSに与える影響

一般のFTSの可動鏡のサンプリング位置の決定には、レーザ光の干渉によるサンプリング、または可動鏡の移動量によるサンプリングが用いられる。この二つのサンプリング方法を用いたFTSの可動鏡走査中に振動が生じたときの、観測されるスペクトルに与える影響をシミュレーションにより計算した。平面鏡、またはアライメントずれに強いとされるコーナーキューブリフレクタ (CCR) を反射鏡に用いた標準型マイケルソン干渉計を光学系として使用した。入力スペクトルには、大気放射計算プログラムFASCODE3P[1]により計算した、宇宙から地球を観測したときの波数2300cm⁻¹付近のCO₂の吸収帯のスペクトルを用いている。振動は、影響が顕著に現れると考えられるハーフミラーに対して、周期1.1mm (サンプリング間隔6.32x10⁻⁴mm) の正弦関数で表される軸回転の動きとして与えた。Fig.3に、シミュレーションにより得られたスペクトルの一例を示す。ここで、CCRを反射鏡として用いた光学系を用いている。×はレーザによるサンプリングを行ったときの観測されるスペクトル、□は可動鏡位置によるサンプリングを行ったときのスペクトル、破線は振動のない理想的な装置で観測されるスペクトルである。Fig.4に、振動の振幅とスペクトルのRMS誤差との関係を示す。図中、×はレーザによるサンプリングで反射鏡にCCRを使用、□は可動鏡によるサンプリングでCCRを使用、+はレーザによるサンプリングで平面鏡を使用、○は可動鏡によるサンプリングで平面鏡を使用したものをそれぞれ示している。

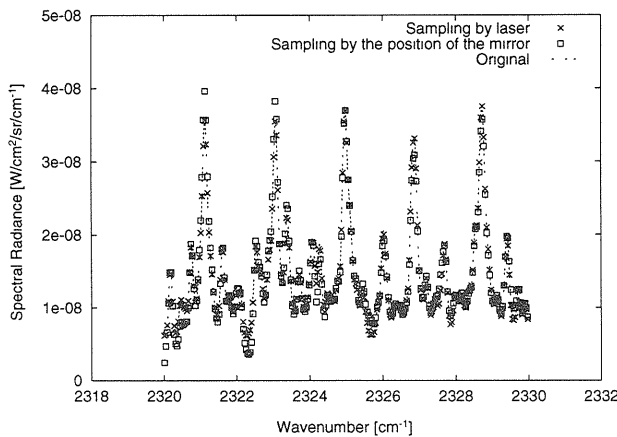


Fig.3 Simulated spectrums of the FTS with vibrations

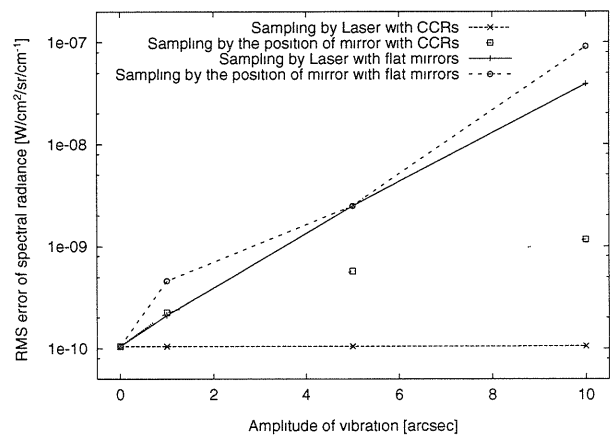


Fig.4 Vibration amplitude dependence of RMS error of the simulated spectrums

ハーフミラーが振動した場合のスペクトルの誤差を与える要因は、大きく分けて二つである。一つの要因はハーフミラーの基材を光線が通過する長さが変化することによる光路長の変化である。可動鏡位置によりサンプリングを行った場合、この光路長の変化がサンプリング位置の誤差として観測され、スペクトルにゴーストを発生させる。レーザによりサンプリングを行った場合、光路長は変化するが、レーザの光路のハーフミラーも同様に振動する。したがって、サンプリング間隔に与える誤差は、信号光用とレーザ用のハーフミラーの屈折率の差とハーフミラーの基材を通る長さの変化量の積で表され、通常、屈折率の差は屈折率の絶対値に比べ十分小さいため、サンプリング位置に与える誤差は小さくなる。スペクトルの誤差を与えるもう一つの要因は、ハーフミラーによる反射光の光線の方向の変化である。平面鏡を反射鏡として用いたFTSでは、射出瞳における二つの光路の波面の傾きがお互いに逆方向になるため、干渉効率が劣化し、観測されるスペクトルに誤差を生ずる。一方、CCRを用いたFTSでは、この変化が二つの光路で補償されるため、光線の方向の変化による影響は生じない。

4. まとめ

FTSのシミュレーション技術の開発を行い、FTSで観測されるスペクトルの振動による影響の見積りを行った。振動の生ずる環境下において使用されるFTSでは、レーザ光の干渉によりサンプリング位置を決定することが望ましく、また、CCRを用いることにより振動の影響を軽減できる。本シミュレータにより、振動などの影響を定量的に評価することができ、設計の最適化を図ることが可能となった。

なお、本検討は (財) 資源探査用観測システム開発機構が通商産業省からの受託研究として実施した成果の一部を含めて取りまとめられたものである。

[1] S. A. Clough, F. X. Kneizys, E. P. Shettle and G. P. Anderson, "Atmospheric Radiance and Transmittance: FASCODE2", Proc. 6th Conf. Atmos. Rad. (1986)